

Ivonne Rohmann

Lederforschung: Rückblick und aktuelle Forschungsfelder

Leder ist aufgrund seiner Komplexität bis heute noch nicht umfassend erforscht. Für diese Vielschichtigkeit sind mehrere Faktoren verantwortlich, die die Qualität und den Zustand des Materials maßgeblich beeinflussen: erstens unterliegt schon der Rohstoff Haut [natürlichen Schwankungen](#). Zweitens variieren die zur [Gerbung](#) eingesetzten Stoffe und Methoden je nach Region und Zeit, wobei die Rezepturen und Verfahren in der Regel nicht dokumentiert wurden. Drittens können die Bedingungen während der Nutzung, Aufbewahrung und Präsentation, also mechanische und klimatische Einflüsse sowie Licht und Luftschadstoffe, zu einer unkontrollierten Veränderung und somit einer Schädigung des Materials beitragen.

Im Fokus der Forschung (mit Schwerpunkt auf vegetabil gegerbtem Leder, [Abb. 1](#)) stehen aktuell vor allem die [Gerbung](#), hier speziell die [Vernetzung des Kollagens mit den Gerbstoffen](#), die Untersuchung der Auswirkungen [schädigender Faktoren](#) auf die Lederstruktur, einzeln wie auch in ihrem Zusammenwirken, die [künstliche Alterung](#) und die Entwicklung eines für die nachhaltige Restaurierung geeigneten, [alterungsbeständigen Leders](#) – nach wie vor ein dringendes Desiderat der Fachwelt. Der Einsatz und die Weiterentwicklung [\(mikro\)analytischer Methoden](#) ist dabei grundlegend für die Untersuchung von Leder.

Herstellung von Leder

Das Rohmaterial für die Herstellung von Leder ist Haut, ein leicht verderbliches Material, das durch die Gerbung vor dem mikrobiellen Zerfall geschützt und dessen Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einwirkungen wie Feuchtigkeit und Hitze erhöht werden soll. Gleichzeitig sollen die Flexibilität und die Elastizität der Haut bewahrt werden.

Doch Haut ist nicht gleich Haut: die Qualität der für die Lederherstellung verwendeten Häute ist von vielen [natürlichen Gegebenheiten](#) abhängig. Zwar besteht jede Haut hauptsächlich aus [Kollagen](#) und setzt sich aus Oberhaut (Epidermis), Lederhaut (Corium) und Unterhaut (Subcutis) zusammen. Doch ist die Lederhaut, was das Verhältnis von Papillar- zu Retikularschicht betrifft, je nach Art des Tieres unterschiedlich strukturiert und besitzt so spezifische Eigenschaften, aus der große qualitative Unterschiede des Leders resultieren (vgl. [Oltrogge und Fuchs 1989](#), S. 105-107). Neben der Tierart haben das Alter, das Geschlecht, die Körperregion, aus der das Leder stammt, sowie die Aufzuchtbedingungen des einzelnen Tieres wesentlichen Einfluss auf die Haut- und somit die Lederqualität (vgl. [Haines 2006a](#), S. 11-21).

Grundsätzlich kann jede Haut¹ zu Leder verarbeitet werden, in der Regel stammen die Rohhäute aber von Rind/Kalb, Schaf/Lamm, Schwein und Ziege, seltener von Wild und Pferd. Als Ausgangsmaterial für exotische Leder dient z. B. die Haut von Vögeln, Reptilien und Fischen.

Für die Lederherstellung ist, wie die deutsche Bezeichnung sagt, die sog. Lederhaut (lat. Corium) relevant. Damit diese leichter von der Oberhaut mit der Haarschicht und der Unterhaut mit der Fleischschicht separiert werden kann, werden biochemische oder alkalische Methoden angewendet, die eine Lockerung der Bindung der Hautschichten bewirken. Je nach Region und Zeit kamen und kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, die unterschiedlich schnell (innerhalb weniger Tage bis hin zu mehreren Monaten) den gewünschten Effekt erzielen. Auf biochemischem Weg geschieht dies durch Mikroorganismen (z. B. durch Hundekot, seit Anfang des 20. Jahrhunderts durch isolierte Enzyme), beim alkalischen Verfahren wird Kalk, heute vor allem in Verbindung mit Natriumsulfid verwendet (sog. Äschern). Nachdem die Oberhaut mit Haaren sowie das Bindegewebe und Fett der Unterhaut entfernt worden sind, werden die nun Blöße genannten Häute, sofern sie mit alkalischen Methoden behandelt wurden, entkalkt, d. h. durch Zugabe von Säure oder Salz neutralisiert. Eine optionale enzymatische Beizung steht am Ende der Vorgänge in der Wasserwerkstatt und bereitet die Blößen durch einen gezielten Abbau von Kollagen und anderen Proteinen optimal auf den Gerbprozess vor, beim Gerben mit Chromsalzen geschieht dies durch Säuren (sog. Pickeln).

Prinzipiell unterscheidet man zwischen vegetabler, mineralischer und synthetischer [Gerbung](#) sowie den sehr alten Methoden der Fett- und Rauchgerbung. Bei den beiden letztgenannten Verfahren, die vermutlich schon seit der Altsteinzeit² bekannt sind, werden die Häute mit tierischen Fetten wie z. B. Hirn, Eigelb oder Fischöl (sog. Sämischgerbung mit Fetten von Fischen und Wassersäuern) oder durch Rauch haltbar gemacht. Historisch relevant sind neben der Fett- und Rauchgerbung die ungefähr seit der Bronzezeit³ verwendete vegetable Gerbung (sog. Rot- bzw. Lohgerbung) mit pflanzlichen Stoffen wie Rinden, Blättern, Holz, Früchten und anderen Pflanzenteilen sowie die Mineralgerbung mit dem ebenfalls natürlich vorkommenden Alaun (Aluminiumkaliumsulfat, sog. Weißgerbung). Diese weißgegerbten Leder⁴ wurden seit dem 16. Jahrhundert vor allem als günstige Einbandleider verwendet ([Giovannini 1995](#), S. 215). Seit dem 19. Jahrhundert werden Leder auch mit [Chromsalzen](#), den heute in der Lederindustrie vorherrschenden Gerbstoffen, mineralisch gegerbt. Synthetische Gerbstoffe wie Formaldehyd werden seit dem 20. Jahrhundert vor allem in Kombination mit anderen Gerbverfahren eingesetzt. Der eigentliche Gerbvorgang wird bewegt und/oder unbewegt (stehend) in Fässern, Trommeln oder Gruben durchgeführt, die Gerbzeiten sind in Abhängigkeit vom eingesetzten Gerbmittel sehr unterschiedlich. (Zu den verschiedenen Gerbstoffen und -methoden siehe [Covington 2006](#))

Die Gerbung mit unterschiedlichen Stoffen kann die Eigenschaften von Leder in spezifischer Weise beeinflussen. Dieses Wissen nutzt man, um durch die Kombination verschiedener Gerbmittel, die sowohl gleichzeitig (sog. Mischgerbung) als auch nacheinander (sog. [Nachgerbung](#)) angewendet werden, eine bestimmte Lederqualität zu erzielen. Nicht nur die Auswahl der Häute, sondern auch die Wahl und Mischung der Gerbstoffe ist also für die intendierte Qualität des Leders (z. B. für besonders geschmeidiges, volles oder stabiles, haltbares Leder) entscheidend ([Leather Conservation Centre 1981](#), S. 19-23). Das Gerbmittel bestimmt zudem tendenziell den Grundfarbton der gegerbten Häute, die z. B. bei der Chromgerbung graublau, bei vegetabler Gerbung rotbraun, der Fettgerbung gelblich und der „Gerbung“ mit Alaun weiß sind, bevor sie in der weiteren Verarbeitung eventuell gefärbt werden.

Aktuelle Forschungsbereiche

Analysemethoden

Für die [Analyse](#) von Leder steht heute eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung (vgl. [Thomson 2006a](#), S. 58-64), die aber oft aufwändig, zeit- und kostenintensiv und somit im Kontext einer Bearbeitung nicht generell verfügbar und anwendbar sind, vor allem nicht bei der Mengenrestauration. Auch handelt es sich zumeist um zerstörende Verfahren, wodurch das zu untersuchende Objekt zusätzlich geschädigt wird (vgl. [Abb. 6](#)). Grundsätzlich liefern



Abbildung 1: Aktuelle Bereiche der Lederforschung

die einzelnen Analysen auch nur einzelne Messergebnisse und damit einzelne Anhaltspunkte für den Zustand von Leder⁵, die dann auf Grundlage langjähriger wissenschaftlicher und technologischer Erfahrung im Umgang mit dem Material in ihrem Zusammenwirken interpretiert werden müssen. Ziel der Forschung ist daher auch, diese organoleptischen Erfahrungswerte mit Analysewerten zu hinterlegen und damit zu objektivieren. Für die Ermittlung des Sulfatgehalts und des pH-Werts wurden zum Beispiel chemische Analysemethoden entwickelt, die mit den gängigen Methoden korrelieren, für die aber nur eine sehr geringe Menge der zu prüfenden Substanz (= > als 10 mg) erforderlich ist. Auch die Schrumpfungstemperatur, die ein Parameter für die physische Stabilität von Leder ist, kann optisch mit nur wenigen Lederfasern ermittelt werden ([Larsen und Rasmussen 2002](#)).

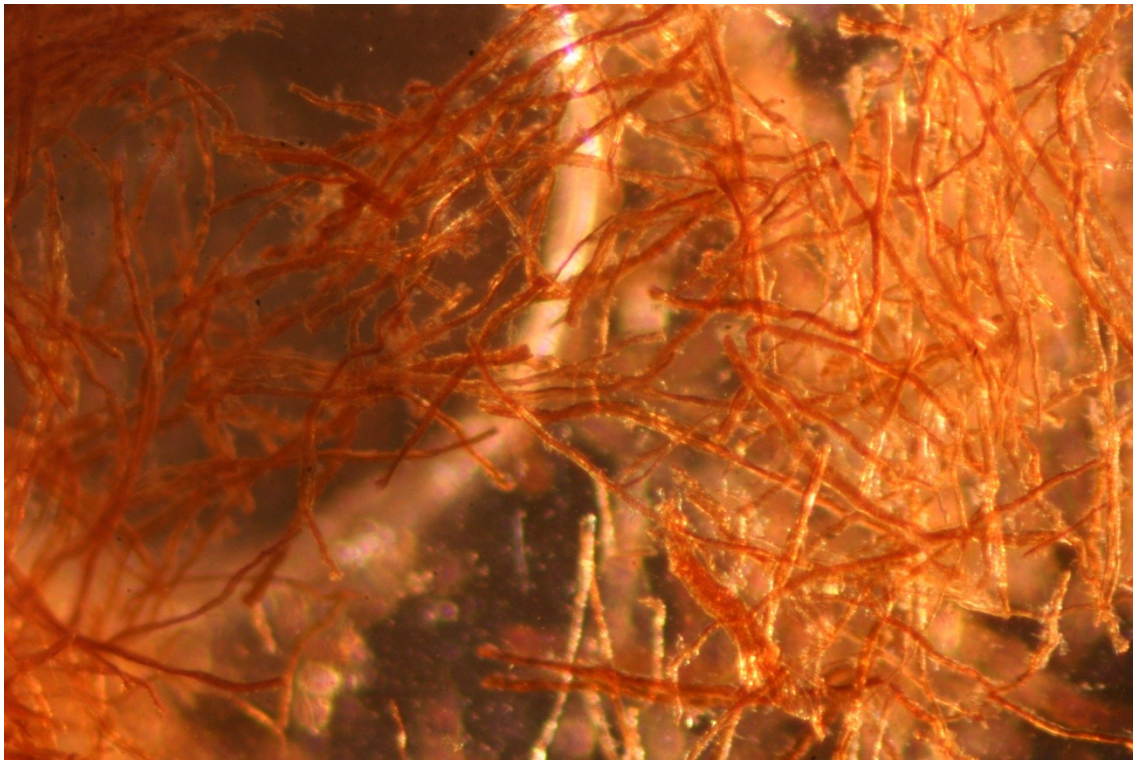


Abbildung 2: Gegerbte Kollagenfasern aus dem Corium. Foto: A. Nossack

Gerbung

Im Bereich der [Gerbung](#) besteht nach wie vor ein großes Forschungsdefizit. Noch 1995 schreibt Giovannini (S. 207), dass „die genauen chemischen Vorgänge, die bei der Umwandlung einer Rohhaut in Leder stattfinden, [...] genau wie die Moleküle, die an diesen Reaktionen beteiligt sind, sehr kompliziert und teilweise unbekannt [sind]. Die Arbeit des Gerbers hat noch heute empirischen Charakter“.

Für das Verständnis der chemischen Vorgänge bei der Gerbung ist das Wissen um die Struktur der Proteine und des [Kollagens](#) als Hauptbestandteil von Haut⁶ grundlegend. Seit

den 1930er Jahren wurde in diesem Bereich intensiv geforscht (vgl. [Deichmann 2004](#)). Die Grundlagenforschung ergab, dass jedes Kollagenmolekül, vereinfacht gesagt, aus drei spiralförmigen Proteinsträngen (sog. helikalen Peptidketten) besteht, die einander umschlingend eine größere spiralförmige molekulare Struktur (sog. Tripelhelix) ausbilden ([Haines 2006](#), S. 4-10). Diese Moleküle verbinden sich dann über 4 Stufen zu makromolekularen Komplexen: Fibrillen⁷, Fibrillenbündeln, Fasern und Faserbündeln ([Teper 2009](#), III. A.1.-A.2.).

Die zentrale Frage ist aber nach wie vor, wie sich [Kollagen und Gerbstoff](#) miteinander verbinden. Dafür gibt es aktuell zwei Modelle. Zunächst ging man davon aus, dass die

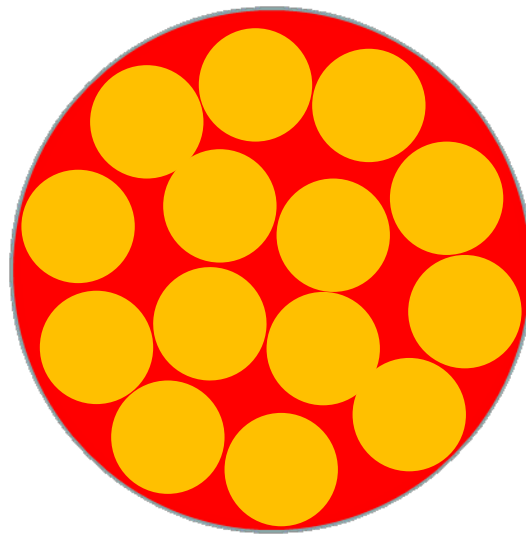


Abbildung 3: Schematischer Querschnitt durch eine Lederfaser mit Fibrillenbündeln (gelb), die vom Gerbstoff (rot) umgeben und durchdrungen worden ist (Modell 1). Grafik: I. Rohmann

Kollagenfaser vollständig vom Gerbstoff durchdrungen wird (Modell 1, vgl. Abb. 3). Dieser Annahme stehen aber Beobachtungen gegenüber, die man bei der Messung der Schrumpfungstemperatur machen konnte. Um die Schrumpfungstemperatur zu ermitteln, d. h. die hydrothermale Stabilität von Leder zu prüfen, werden gegerbte Kollagenfasern aus der Lederhaut in Wasser erwärmt und dabei die Veränderung der kollagenen Struktur unter dem Mikroskop beobachtet. Um die Mitte der 1990er Jahre stellte man fest, dass der Schrumpfungsprozess in zwei Phasen abläuft: man unterscheidet so erstens die Phase bis zum Einsetzen der Faserschrumpfung, zweitens die Phase, in der die Faser dann selbst schrumpft (vgl. [Abb. 4](#)).

Die Schrumpfungstemperaturmessung zeigte nun, dass in der ersten Phase, also bis zum Einsetzen der Faserschrumpfung, unterschiedliche Energiemengen aufgewendet werden müssen. Während die Schrumpfungstemperatur von roher Säugetierhaut bei 58 bis 64°C liegt, ist dieser Wert bei gegerbten Häuten höher, wobei verschiedene Gerbstoffe die

Schrumpfungstemperatur im Vergleich zu roher Haut in unterschiedlichem Ausmaß ansteigen lassen⁸, wie folgende Tabelle (vgl. Thomson 2006, S. 2) zeigt.

Material	Temperatur
Rohe, ungegerbte Haut	58 bis 64°C
Formaldehydgerbtes Leder	65 bis 70°C
Aluminiumgerbtes Leder	70 bis 80°C
Vegetabil gegerbtes Leder (hydrolysierbare Tannine)	75 bis 80°C
Vegetabil gegerbtes Leder (kondensierte Tannine)	80 bis 85°C
Chromleder	100 bis 120°C

Tabelle 1: Schrumpfungstemperaturen von roher und gegerbter Haut

Die zweite Phase, also die eigentliche Schrumpfung der Faser, läuft hingegen immer bei vergleichbarem Energieeinsatz ab. Und dies unabhängig davon, ob die Fasern aus roher oder gegerbter Haut entnommen worden sind ([Larsen, Vest und Nielsen 1994](#), S. 151-160; Haines 2006, S. 9; [Thomson 2006](#), S. 3; Teper 2009, IV. B). Das heißt nun, dass der Gerbstoff die Faser nicht durchdringen kann, da ansonsten auch für die eigentliche Faserschrumpfung in Phase 2 unterschiedliche Energiemengen aufgewendet werden müssten, je nachdem, welcher Gerbstoff verwendet worden wäre (Haines 2006, S. 10).



Abbildung 4: Phasen der Schrumpfungstemperaturmessung: Phase 1: unterschiedlicher Energieeinsatz bis zum Einsetzen der Faserschrumpfung; Phase 2: Faserschrumpfung bei gleichem Energieeinsatz

Auf Grundlage dieses Wissen wurde ein zweites Modell entwickelt, das die komplexe Vernetzung von Gerbstoff und Kollagen erklären soll ([Abb. 5](#)). Es geht von einer übermolekularen Struktur, sozusagen einer Art Schutzhülle, aus, die durch die Gerbung um die Lederfaser herum gebildet wird. Die Größe und die Komplexität dieser Matrix sind vom verwendeten Gerbstoff abhängig und sollen entscheidenden Einfluss auf die Ledereigenschaften haben. Um die intramolekularen Bindungen der Matrix aufbrechen zu können, das heißt die Schutzhülle zerstören und die eigentliche Faser erreichen zu können, ist je nach Gerbstoff der Einsatz unterschiedlich großer Mengen an Energie erforderlich (Teper 2009, IV. B.; Thomson 2006, S. 3).

Durch hydrolytische und oxidative Vorgänge sind die chemischen Bindungen zwischen Kollagen und Gerbstoff unter Umständen bereits geschädigt worden, wodurch die Stabilität

der schützenden Hülle reduziert wird (Haines 2006, S. 9). Nach Hallebeek (vgl. Strebel 2003, S. 51) wird „mit der Schrumpfungstemperatur [...] eigentlich der Grad der Entgerbung der Leder gemessen“ – wobei gilt: je entgerbter das Leder, desto niedriger die Schrumpfungstemperatur⁹.

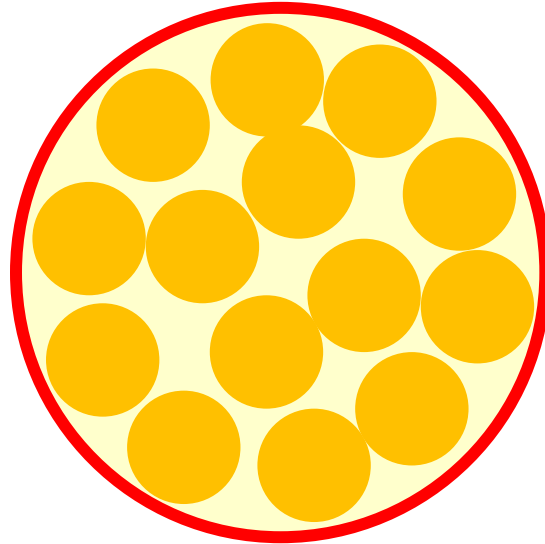


Abbildung 5: Schematischer Querschnitt durch eine Lederfaser mit Fibrillenbündeln (gelb), die vom Gerbstoff (rot) in Art einer Schutzhülle umgeben wird (Modell 2). Grafik: I. Rohmann

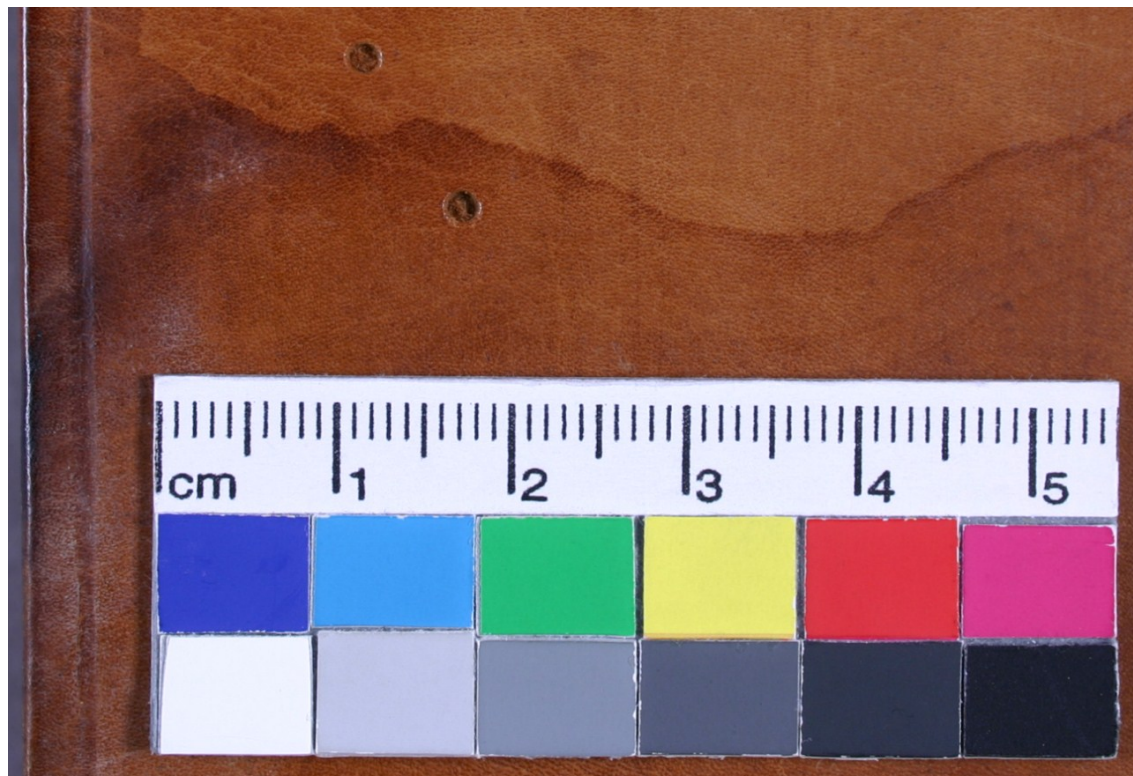
Luftschadgase, die unter anderem durch die Verbrennung fossiler Stoffe entstehen, sind als ein wichtiger Faktor für die [Schädigung von Materialien](#) aller Art bekannt. Neuere Forschung zeigte, welche interagierenden chemischen Reaktionen durch bestimmte [schädigende Faktoren](#) im Leder hervorgerufen werden und welche Auswirkungen sie letztlich auf die Materialstruktur haben. Sowohl die gerbenden Stoffe als auch die Kollagene sind gleichermaßen von einem [sauren hydrolytischen und einem oxidativen Abbau](#) betroffen. Welche chemische Reaktion schließlich abläuft, wird wohl im Wesentlichen durch die Aufbewahrungsbedingungen bestimmt: die Hydrolyse kann so auf saure Luftverschmutzung (z. B. Stickoxid und Schwefeldioxid¹⁰ in der Umgebungsluft) zurückgeführt werden, woraus u. a. ein Anstieg des löslichen Sulfats im Leder resultiert. Die Oxidation wird durch Licht, oxidative Luftschadstoffe wie Ozon, Sauerstoff oder Fette verursacht und hat vor allem eine Veränderung der Struktur der Aminosäuren und die Bildung von Ammoniumsulfaten zur Folge ([Larsen 1989](#), S. 6-8 und [Larsen 1992](#), S. 5). Hohe Temperaturen und Luftfeuchtigkeit beschleunigen diese Prozesse.

Schädigende Faktoren

Säuren, die im Leder als Katalysator wirken und für den hydrolytischen Abbau verantwortlich sind, können auch im Herstellungsprozess, z. B. beim Färben oder durch das Gerbmittel, in die Leder eingebracht werden oder entstehen als Abbauprodukte bei der Oxidation. Diese



Abbildung 6a und Abbildung 6b (Ausschnitt): Schrumpfungstemperaturmessung an einem intakten Lederband mit Wasserschaden. Im rot markierten Bereich wurden zwei Proben entnommen. Der Ausschnitt zeigt die Schäden, die durch die Probenentnahme am Einband entstanden sind.
Fotos: A. Nossack



kann wiederum durch hydrolytische Abbauprodukte initiiert werden, wobei sich aber zeigte, dass saure Hydrolyse als vorrangig ablaufender Prozess zunächst eine hemmende Wirkung auf den oxidativen Abbau von Kollagen hat (vgl. [Florian 2006](#), S. 37).

Vegetables Leder ist, anders als beispielsweise mit Mineralen oder synthetisch gegerbte Häute, besonders von [Luftschadstoffen](#) betroffen, da die pflanzlichen Tannine u. a. eine Absorption des in der Luft enthaltenen Schwefeldioxids begünstigen (Larsen 1994, S. 166). Tannine sind pflanzliche Sekundärstoffe (chemisch: Polyphenole), die Pflanzen vor Krankheiten oder Fressfeinden schützen sollen. In vegetabilen Gerbstoffkomplexen sind Tannine wegen ihrer Eigenschaft, mit Proteinen zu interagieren und stabile Verbindungen zwischen den Eiweißmolekülen auszubauen, die eigentlich gerbenden Faktoren. Aufgrund der unterschiedlichen Reaktionsfähigkeit mit Sauerstoff unterscheidet man heute die chemischen Klassen der [hydrolysierbaren Tannine](#) (Gallotannine / Ellagitannine; früher Pyro-Gallol) und nicht hydrolysierbaren, [kondensierten Tannine](#) (Catechingerbstoffe; früher Pyro-Katechol) ([Hagerman 2002](#) und [2002/2010](#)).

Schon [seit den 1920er Jahren](#) ist bekannt, dass vegetabil gegerbte Leder unterschiedlich auf Luftschadstoffe reagieren. Das Problem wurde auf die Gerbung mit Stoffen aus der Gruppe der [kondensierten Gerbstoffe](#) wie Mimosa, Gambier, Quebracho¹¹ zurückgeführt, während die zu den hydrolysierbaren Gerbstoffen wie Sumach, Tara und Myrobalanen¹² zählenden Gerbmittel als unbedenklich und weitgehend resistent gegenüber Luftschadstoffen galten. Nach heutigem Stand der Forschung sind die hydrolysierbaren Gerbstoffe sehr stabil und reagieren erst mit großer Verzögerung mit Hydrolyse und Oxidation z. B. auf Schwefeldioxid in der Luft ([Calnan 1989](#), S. 9), doch sind auch die so gegerbten Leder über kurz oder lang nicht vor einer Schädigung durch Luftverschmutzung geschützt.

Künstliche Alterung

Mit der [künstlichen Alterung](#) von Leder sollen Voraussagen über das Alterungsverhalten moderner Restaurierleder getroffen und auch der Erfolg von Behandlungsmethoden evaluiert werden. Bisherige Forschung zeigte, dass unter bestimmten Bedingungen bei neuen vegetabil gegerbten Ledern ein Schadensbild erzeugt werden kann, das dem Zustand natürlich gealterter Leder weitgehend entspricht ([Chahine 1994](#), S. 31-34; [Thomson und Lochmuller 1994](#), S. 35-38). Der Vergleich von künstlich gealterten Ledern mit historischen Referenzmaterialien ergab, dass der Zustand natürlich gealterten Leders aber sehr stark von der Art der schädigenden Einflüsse abhängt, denen das Leder ausgesetzt war. Fazit: die Parameter für die künstliche Alterung müssen so auch exakt auf diese Umweltbedingungen während der Lagerung zugeschnitten sein – was noch weiterführende Untersuchungen erfordert.



Abbildung 7: Vegetabil gegerbtes Einbandleder mit dem typischen Schadensbild des sog. roten Zerfalls im fortgeschrittenen Stadium. Die Leder weisen eine intensive rotbraune Verfärbung auf und sind fast vollständig abgebaut.

Foto: J. Kraemer

Restaurierleder

Intensive Forschungsarbeit ist nach wie vor auch im Bereich der [Restaurierleder](#) zu leisten. Hier gibt es zwei Schwerpunkte: erstens die Entwicklung eines seriell zu produzierenden, alterungsbeständigen [Restaurierleders](#), das sich zudem gut verarbeiten lässt. Zweitens die Prüfung der bereits auf dem Markt erhältlichen bzw. neu entwickelten Restaurierleder, wobei auch die in diversen Forschungsprojekten für ein solches Leder festgesetzten Qualitätskriterien evaluiert werden. Dabei gibt es, je nach Restaurierungsdisziplin, unterschiedliche Ansprüche in Hinsicht auf die Verarbeitbarkeit und die Eigenschaften des Leders: für die Restaurierung von Ledertapeten (ledernen Wandbespannungen) muss das Leder zum Beispiel relativ fest und stabil sein, während Leder für die Restaurierung von Bucheinbänden eine größere Elastizität aufweisen muss.

Chronologischer Abriss der Lederforschung anhand ausgewählter Forschungsprojekte

1830er bis 1910er Jahre: Schädigende Faktoren

Die [Anfänge der Lederforschung](#) datieren in die Mitte des 19. Jahrhunderts. Anlass für eine erste Untersuchung der schädigenden äußeren Einflüsse war die seit den 1830er Jahren fortschreitende Zerstörung von Bucheinbänden aus pflanzlich gegerbtem Leder. So untersuchte der britische Naturforscher und gelernte Buchbinder Michael Faraday schon 1842 die Parameter, die zur Schädigung von Einbandlehern führen. Er konzentrierte sich im Rahmen seiner Forschung auf die Auswirkungen der damals gebräuchlichen artifiziellen Beleuchtung (Öl- und

Gaslampen) am Beispiel der Bibliothek des „Athenaeum Club“ in London und stellte ein von ihm entwickeltes Modell einer zweizylindrigen Lampe vor: die bei der Verbrennung des Öls bzw. Gases entstehenden [Luftschadgase](#) sollten durch ein spezielles System aus dem Rauminnen nach außen abgeleitet werden¹³ ([Cobham und Wood 1905](#), S. 1).



Zeittafel zur Entwicklung der Lederforschung

Die eingangs geschilderte Problematik der Zerstörung von Bucheinbänden stand auch um 1900 im Fokus der Diskussion von britischen und deutschen Fachleuten¹⁴. In beiden Ländern wurden spezielle Untersuchungskommissionen eingesetzt, die das Phänomen als ‚Roten Zerfall‘ (engl. Red Rot) identifizierten (Cobham und Wood 1905). Charakteristische Merkmale dieser Schädigung sind die intensive rotbraune Färbung und der kontinuierliche, bis zur vollständigen Zerstörung führende, pulverförmige Abbau des Leders (vgl. [Abb. 7](#)). Schon damals wurden für dieses Schadensbild vor allem die Aufbewahrungsbedingungen (Klima, Luftschadstoffe, Licht), die Verwendung ungeeigneter Materialien bei der Bindung und Veränderungen im Herstellungsprozess, besonders bei der Gerbung, der Färbung und der Appretur des Leders, verantwortlich gemacht ([Ihm und Frohknecht 1911](#), S. 5-6).

Zur Färbung von vegetabil gegerbtem Leder wurden neben Pflanzenfarbstoffen seit 1870 auch Anilinfarben eingesetzt, die zwar eine große Farbvielfalt ermöglichen, bei denen das Leder vor der eigentlichen Färbung aber einer Schwefelsäurebehandlung unterzogen werden musste. Diese Schwefelsäure konnte dann im Anschluss nicht mehr vollständig entfernt werden und führte zu einer Schädigung des Leders. Da aber eine Verschlechterung der Einbandleder seit den 1830er, besonders aber seit den 1860er Jahren festgestellt wurde, können die Anilinfarben, die zwar seit den 1850er Jahren stetig entwickelt, aber erst seit ca. 1870 in großem Umfang eingesetzt wurden, nicht als ursächlich, sondern nur als ein zusätzlicher Faktor im Schädigungsprozess betrachtet werden. (Ihm und Frohknecht 1911, S. 6-7)

Auffallend ist aber, dass vor allem in Großbritannien mit der zunehmenden Industrialisierung seit dem Ende des 18. Jahrhunderts eine kontinuierlich steigende Luft- und Umweltverschmutzung registriert wurde (vgl. [Paeger 2006-2011](#) und [2006-2011a](#)).

1920er bis 1930er Jahre: Alterungsbeständigkeit

In Großbritannien führten die Forschungen des Chemikers Faraday Innes 1931 zur Entwicklung des sog. PIRA-Tests, mit dem Leder auf seine Alterungsbeständigkeit geprüft werden sollte (vgl. [Barlee 1999](#), S. 14-17). Innes favorisierte für die Herstellung von Leder die vegetabilen hydrolysierbaren Gerbstoffe und die Nachbehandlung mit Salzen, um so eine zusätzliche Pufferung des Leders zu erreichen. Der PIRA-Test sah vor, dass die Leder den Bedingungen ausgesetzt werden, die in der Regel zur Oxidation und zur sauren Hydrolyse führen. Lederstücke von einer Größe von rund 12,9 cm² (ca. 2 Quadratzoll) wurden zunächst in verdünnte Schwefelsäure getaucht und anschließend über einen Zeitraum von 10 Tagen mit Wasserstoffperoxid beträufelt. Leder, die den (damals erstmals) aufgestellten Kriterien entsprachen und den Test unbeschadet überstanden, wurden noch bis in die 1970er Jahre hinein in England mit einem gleichnamigen Gütesiegel („PIRA test resistant“) ausgezeichnet. Die Aussagekraft des PIRA-Tests war aber begrenzt, da auch die Leder, die mit [kondensierten Gerbstoffen](#) produziert und mit einer großen Menge an Salzen zur Pufferung nachbehandelt

worden waren, den Test bestanden. Lederhersteller sollen ihre Produkte auf diese Weise manipuliert haben, um so minderwertigeres Leder als besonders hochwertiges, zertifiziertes Buchbinderleder zu höheren Preisen verkaufen zu können (Barlee 1999, S. 17).

Seit 1930er Jahren: Künstliche und natürliche Alterung

Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden erste Versuche auf dem Gebiet der [künstlichen Alterung](#) von Papier unternommen, um daraus Schlussfolgerungen über dessen Alterungsverhalten abzuleiten. In den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts handelte es sich ausschließlich um die beschleunigte Alterung durch trockene Hitze und Sonnenlicht.¹⁵ In den 1950er Jahren begann man, diese Methode anzuzweifeln: Man erkannte, dass das simulierte Alterungsverhalten nicht dem natürlichen entsprach und stellte die Aussagekraft der trockenen thermischen Alterung bei konstanter Temperatur in Frage. Ein generelles Problem war, dass das Material künstlich gealtert wurde, ohne die auftretenden Veränderungen mit denen natürlich gealterter Referenzmaterialien abzugleichen ([Porck 2000](#), S. 19-20).

Es ist umstritten, ob mittels künstlicher Alterung gültige Vorhersagen hinsichtlich der Alterungsbeständigkeit bestimmter Materialien getroffen werden können. Da die künstliche Alterung aber eine der nur wenigen Methoden zur Erforschung des Alterungsverhaltens ist, wurde in diesem Bereich auch weiterhin intensiv gearbeitet: heute wird auch Leder der statischen und der dynamischen (Licht-)Alterung bei wechselnden Temperaturen, unterschiedlicher relativer Luftfeuchte und unter Einfluss von Schadstoffen unterzogen (vgl. STEP Leather Project, S. 174ff; zur künstlichen Alterung vgl. [Feller 1994](#); Porck 2000).

Alternativ zur kurzfristigen künstlichen Alterung kann man den natürlichen Alterungsprozess von Materialien aller Art über einen langen Zeitraum unter wechselnden Bedingungen beobachten und die Veränderungen in bestimmten zeitlichen Abständen dokumentieren. Ein solches Langzeit-Projekt wurde in Großbritannien 1932 von der Buchbinder-Industrie in Kooperation mit verschiedenen Forschungseinrichtungen initiiert („British long term storage trial“). Die Projektziele stimmten damals wie heute grundlegend überein: Man wollte die Faktoren, die für die Schädigung der Leder verantwortlich waren, ermitteln und suchte nach geeigneten Gerbmitteln und Gerbverfahren, die eine hohe Alterungsbeständigkeit gewährleisten sollten. Hierzu wurden zunächst 120 Paare von Büchern in Leder gebunden, die 1932 mit identischen vegetabilen Gerbstoffen produziert worden waren, die Anzahl der Buchpaare wurde sukzessive erhöht. Je ein Exemplar des Paares wurde in der British Library in London, also einer städtischen Region mit starker Luftverschmutzung, respektive der National Library of Wales in Aberystwyth in ländlicher, küstennaher Umgebung „ohne“ Luftschadstoffe aufbewahrt. Die Bücher wurden in offenen Regalen aufgestellt und unterlagen keinerlei Einschränkungen bei der Benutzung. Von 1945 bis 1965 kontrollierte man im Abstand von 5 Jahren den physischen Zustand und den Grad der Schädigung, besonders was den ledernen Buchrücken und das Öffnungsverhalten betraf. Der Versuch

wurde in den 1970er Jahren beendet, die Bücher verblieben aber weiter an ihren Aufstellungsorten, so dass sie wichtige [Referenzmaterialien](#) für spätere Forschungsvorhaben, z. B. im Bereich der künstlichen Alterung, darstellen (vgl. [Larsen, Vest und Calnan 1994](#), S. 11-12; Florian 2006, S. 36-37).

Mitte bis Ende 1980er Jahre: Alterungsbeständigkeit ([Aluminiumnachgerbung](#))

Eine Einrichtung, die sich allen Aspekten der Lederforschung widmet, ist die 1920 in Großbritannien von Lederherstellern gegründete British Leather Manufacturers Research Association (BMLRA, seit 1978 The Leather Conservation Centre, LCC). Seit Ende der 1970er, Anfang der 1980er Jahre ist am LCC auch die Entwicklung eines alterungsbeständigen Leders für Bucheinbände in den Fokus gerückt. So verifizierte Haines 1984¹⁶ die Ergebnisse eines US-amerikanischen Projekts von 1940¹⁷, demzufolge die Widerstandsfähigkeit vegetabil gegerbter Leder gegenüber sauren Luftschadstoffen steigt, wenn die Leder nach der Gerbung mit hydrolysierbaren Tanninen mit Aluminiumsalzen behandelt werden. Dies gewährleiste nicht nur eine sehr gute Stabilität der Leder, sondern auch eine „relativ“ gute Verarbeitbarkeit. Kritisch wurden in diesem Zusammenhang vor allem die hohe Wasserbeständigkeit und die große elastische Dehnung des Leders gesehen, die das Färben und Schärpen erschweren und die in Fachkreisen – ausgenommen an den großen, nationalen Bibliotheken – zu einem geringen Interesse an den so produzierten Ledern führten (Barlee 1999, S. 17-18). Haines Untersuchung ergab weiter, dass vegetabil gegerbte Leder mit Chromnachgerbung (besonders der Narben) eine deutlich reduzierte Alterungsbeständigkeit aufweisen ([Barlee 2001](#), S. 14). Die Ergebnisse dieses Projekts wurden in einem Bericht der British Library 1984 veröffentlicht¹⁸ und bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines Standards¹⁹ für alterungsbeständiges Einbandleder (vgl. Barlee 2001, S. 7-8). Berücksichtigt werden z. B. die Gerbmittel, die Schrumpfungstemperatur, die chemische Zusammensetzung, die Beschichtung sowie die Biege- und Weiterreißfestigkeit.

Wenn es möglich ist, die Haltbarkeit neu produzierter vegetabler Leder mit einer Aluminiumnachgerbung zu erhöhen, dann liegt der Gedanke nahe, dass auch bereits durch saure Luftschadstoffe geschädigte, pflanzlich gegerbte Leder von einer solchen Behandlung profitieren könnten. Durch die Nachgerbung mit Aluminium sollen speziell der pH-Wert und die Schrumpfungstemperatur erhöht und generell eine weitere Schädigung durch Luftverschmutzung verhindert werden. Die Nachteile dieser Behandlung liegen aber in der wässrigen Applikation des mineralischen Gerbmittels, durch die das Leder, besonders wenn es bereits geschädigt ist, verhärten und nachdunkeln kann.

Aus diesem Grund initiierte das LCC in Kooperation mit der British Library 1986 ein Forschungsprojekt mit dem Ziel, die Wirksamkeit einer Nachgerbung mit Aluminiumsalzen in nicht-wässrigen unpolaren Lösungsmitteln zu untersuchen. Fraglich war, ob diese modifizierte Nachgerbung zerstörten Ledern eine adäquate Stabilität und einen ausreichenden Schutz vor einer weiteren Schädigung bieten kann (Calnan 1989, S. 10-11).

Calnan evaluierte im Rahmen dieser Untersuchung zunächst die bis dahin zur Behandlung säuregeschädigter Leder empfohlenen Methoden der Pufferung (z. B. mit Kaliumlaktat) und der Bedampfung mit Ammoniumgas: Die Pufferung neuer Leder versprach zwar, wie die natürliche und die künstliche Alterung zeigten, einen gewissen Schutz vor einer Schädigung durch Luftschadgase, erwies sich aber in saurer Atmosphäre als relativ wirkungslos. Bereits durch saure Luftschadstoffe geschädigtes Leder profitierte in keiner Weise von einer nachträglichen Pufferung. Die Methode der Bedampfung mit Ammoniumgas stammt ursprünglich aus der Papierrestaurierung und erwies sich als sehr geeignet, um eine schnelle Neutralisierung der im Papier vorhandenen Säuren zu erzielen. Auch bei Ledern stellte sich dieser Effekt ein, doch bezweifelte Calnan die Nachhaltigkeit dieser Methode²⁰ (Calnan 1989, S. 10).

Calnan favorisierte, wie schon die US-Forscher Beebe und Frey²¹ 1940 und Haines 1984, die Nachgerbung von Leder mit Aluminium. Es zeigte sich, dass zwei Aluminiumalkoxide für die lokale Nachgerbung von Ledern geeignet sind. So werden nach Calnan nicht nur neue Leder durch diese Komponenten vor einer Schädigung geschützt, auch die Schrumpfungstemperatur und der pH-Wert bereits geschädigter Leder konnten durch die Oberflächenapplikation erhöht werden (um 20 bis 30°C bzw. der pH-Wert auf > 3). Die auftretenden Farbveränderungen waren minimal, aber das Leder verhärtete, was durch die nach heutigem Forschungsstand nicht mehr zu empfehlende Anwendung von Lederpflegemitteln reduziert werden konnte (vgl. [Blaschke 2008](#)). Die Nachgerbung mit Aluminiumalkoxiden wurde von Calnan als eine effektive und nachhaltige Methode zur Stabilisierung bereits säuregeschädigter Leder als auch neuer Restaurierleder empfohlen (Calnan 1989, S. 9-25).

Mittlerweile distanziert sich Calnan aber von dieser Methode, wie Forstmeyer vom Restaurierungszentrum Ludwigsburg berichtet (vgl. [Strebel 2003](#), S. 51). Dort wurde das Verfahren im Rahmen eines Seminars angewendet, wobei man feststellte, dass sich die Schrumpfungstemperatur und der pH-Wert zwar geringfügig durch die Ledernachbehandlung mit Aluminiumalkoxiden erhöhten, doch nicht im erforderlichen Umfang. Ein wesentlicher Faktor ist aber, dass durch die Anwendung die Empfindlichkeit des Leders gegenüber Wasser reduziert werden konnte, weshalb das Verfahren in Ludwigsburg in den Fällen zum Einsatz kommt, in denen sehr saure Leder mit wasserhaltigen Klebstoffen behandelt werden. Die in der Regel bei Kontakt der Leder mit Wasser auftretenden Verbrennungserscheinungen (Brüchigkeit, Verschwärzungen) konnten durch die Behandlung mit Aluminiumalkoxiden stark reduziert werden. Forstmeyer rät aber von der Verwendung als Standardmethode bzw. Präventivmaßnahme zur Konservierung ab (vgl. [Strebel 2003](#), S. 51).

1989 bis 1997: Schädigende Faktoren, künstliche Alterung, Analysemethoden

Ungefähr zeitgleich mit Calnan versuchte man in einem Forschungsprojekt der Universität von Kopenhagen und der Technischen Universität von Dänemark ([Larsen, Barkholt und Nielsen 1989, S. 153-158](#)), durch die Analyse der Aminosäuren vegetabler Leder die für eine [Schädigung relevanten Faktoren](#) zu ermitteln und Parameter für die beschleunigte Alterung zu bestimmen. Der Vergleich der Analysewerte neuer und bereits geschädigter historischer Leder zeigte, dass für degradierte Leder²² vor allem zwei Faktoren charakteristisch sind: zum einen der hohe Gehalt an Ammonium, zum anderen eine veränderte Verteilung der Aminosäuren Lysin und Prolin, die von einer Schädigung des Leders vor allem betroffen sind. Die statistische Auswertung der ermittelten Daten zeigte auch, dass diese Aminosäuren (zusammen mit Isoleucin) für die Bestimmung der Tierart, von der das Rohmaterial ursprünglich stammt, besonders relevant sind, und dies unabhängig vom Grad der Zersetzung des Leders. Die Analysen von natürlich gealtertem, historischem Leder und künstlich gealtertem Leder erbrachten dabei ähnliche Ergebnisse, die Larsen u. a. auf der Internationalen Leder- und Pergamenttagung in Offenbach 1989 (ICCOM) vorstellte (Larsen 1989, S. 6-8).

Von der Europäischen Union²³ wurden von 1992 bis 2001 mit den Projekten STEP (1992-1994), [ENVIRONMENT](#) (1994-1997) und [CRAFT](#) (1998-2001) drei große Lederforschungsprogramme gefördert.

Im STEP-Projekt kooperierten europaweit²⁴ Forschungseinrichtungen mit dem Ziel, die Korrelation zwischen natürlich und künstlich gealtertem Leder zu evaluieren und auf dieser Basis Parameter für die Standardisierung einer Methode zur künstlichen Alterung zu bestimmen ([Larsen 1994](#), Titelblatt). Konkret wollte man die chemischen und physischen Veränderungen, die in natürlich gealtertem, vegetabil gegerbtem Leder durch Luftverschmutzung und andere äußere Einflüssen auftreten, identifizieren und quantifizieren. So sollten die Parameter und Konditionen für eine künstliche Alterung festgelegt werden, um in neuen Ledern kontrolliert die gleichen Veränderungen wie in natürlich gealterten Ledern hervorrufen zu können. Schließlich sollte ein standardisiertes Testverfahren etabliert werden, um prüfen zu können, wie sich Leder bei der künstlichen Alterung verhalten und welchen Effekt die einzelnen Konservierungsmethoden in diesem Zusammenhang auf die Widerstandsfähigkeit der Leder haben.

Das STEP-Projekt profitierte dabei vom britischen Langzeitaufbewahrungsprojekt ([British long term storage trial](#)), in dem zehn Paare der historischen, unter natürlichen Bedingungen gealterten vegetabilen²⁵ Ziegenleder als Referenzmaterial verwendet werden konnten. Weitere 27 historische Bucheinbandleder des 16. bis 19. Jahrhunderts (Schaf und Kalb) stammten aus verschiedenen europäischen Quellen. Für die Tests mit der beschleunigten Alterung wurden neue, mit Mimosa und Sumach speziell gegerbte Kalbleder verwendet. Die Probeleder wurden in acht Zyklen²⁶ gealtert. (Larsen 1994, S. 11-30)



Abbildung 8: Apparatur zur Messung der Schrumpfungstemperatur bestehend aus einem Mikroskop, einer Heizeinrichtung, einer Lichtquelle und einer Kamera. Foto: KSW/HAAB

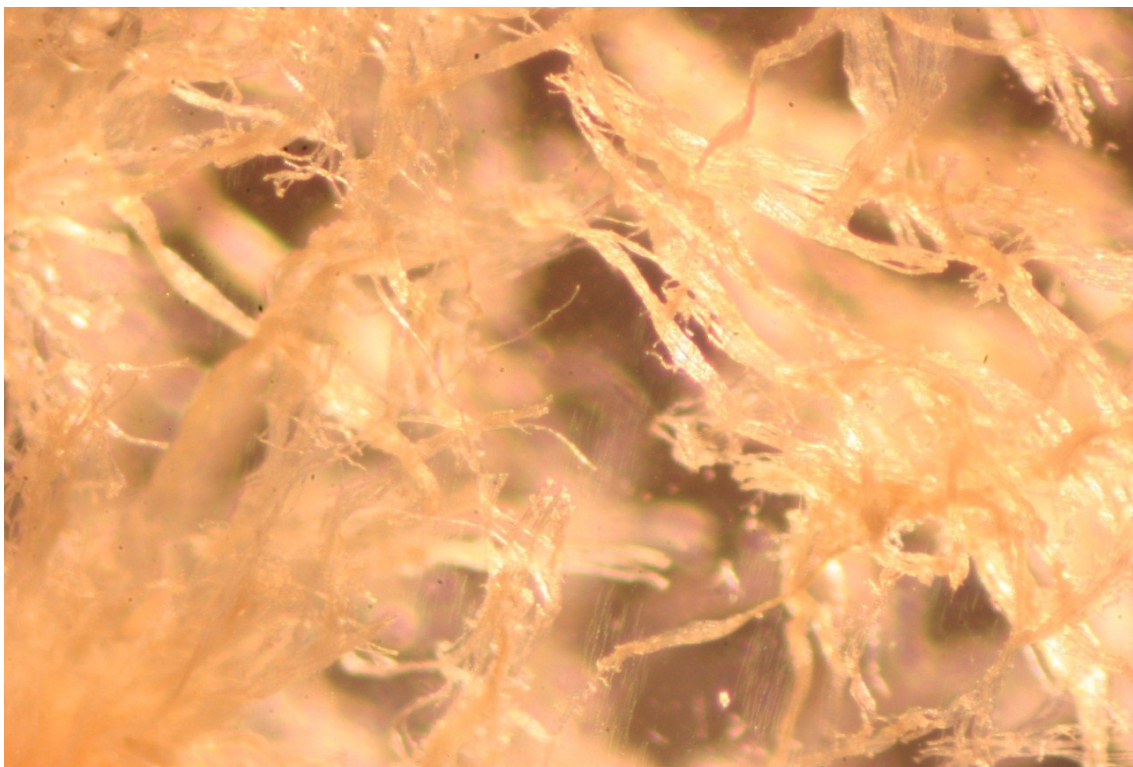


Abbildung 9: Gegerbte Kollagenfasern aus dem Corium. Foto: A. Nossack

Das experimentell und analytisch ausgerichtete STEP-Projekt zeigte, dass für die Zerstörung von natürlich gealtertem vegetabilem Leder zwei konkurrierende und interagierende chemische Mechanismen verantwortlich sind: ein [saurer hydrolytischer und ein oxidativer Abbau](#) sowohl des Kollagens als auch der Tanninkomplexe. Die Hydrolyse kann wohl im Wesentlichen auf saure Luftverschmutzung (d. h. Schwefeldioxid in der Umgebungsluft) zurückgeführt werden und führt unter anderem zu einem Anstieg des löslichen Sulfats im Leder. Wenn das Leder sehr stark durch Hydrolyse geschädigt ist, gelatiniert das Kollagen, sobald es in Wasser erhitzt wird. Die Oxidation wird durch äußere Einflüsse wie Licht, Hitze und Luftschadstoffe verursacht und hat vor allem eine Veränderung der Struktur der Aminosäuren zur Folge. Vegetabile Gerbstoffe beschleunigen die hydrolytische Zerstörung des Kollagens, wobei [kondensierte Tannine](#) besonders viel Schwefeldioxid aus der Luft absorbieren, hydrolysierbare Tannine und ungegerbte Haut entsprechend weniger. Die Reihenfolge bei der oxidativen Reaktion ist umgekehrt: zuerst reagiert ungegerbte Haut, dann mit hydrolysierbaren Tanninen gegerbtes Leder und schließlich die Leder, die mit kondensierten Gerbstoffen hergestellt worden sind (Larsen 1994, S. 169).

Im Kontext des STEP-Projekts wurden mikroanalytische Techniken entwickelt und erprobt, d. h. chemische Analysen, die mit den gängigen Methoden korrelieren, für die aber nur eine sehr geringe Menge der zu prüfenden Substanz (= > als 10 mg) erforderlich ist. So reichen wenige Milligramm Leder aus, um z. B. den pH-Wert und den Anteil an löslichem Schwefel gültig zu bestimmen. Die Schrumpfungstemperatur, die ein Anhaltspunkt für die physische Stabilität von Leder ist, kann optisch mit nur wenigen Lederfasern zuverlässig anhand der MHT-Methode (Micro Hot Table) ermittelt werden (vgl. [Abb. 8](#)) (Larsen und Rasmussen 2002).

Die Untersuchungen zur [künstlichen Alterung](#) zeigten, dass mit den gewählten Zyklen (trockene Hitze/Schwefeldioxid einerseits und Stickoxide bei konstanter Temperatur und relativer Luftfeuchte andererseits) bei neuen vegetabil gegerbten Ledern ein Schadensbild erzeugt werden kann, das dem Zustand natürlich gealterter Leder weitgehend entspricht. Die Leder wurden hierzu in zwei Forschungseinrichtungen mit unterschiedlicher technischer Ausrüstung nach den Vorgaben des STEP-Projekts, also unter vergleichbaren Parametern, der beschleunigten Alterung unterzogen (Chahine 1994, S. 31-34; Thomson und Lochmuller 1994, S. 35-38). Es stellte sich heraus, dass der Zustand natürlich gealterten Leders aber stark von der Art der schädigenden Einflüsse abhängt, so dass die Parameter für die künstliche Alterung auch auf die Umweltbedingungen, denen das historische Leder ausgesetzt war, zugeschnitten sein müssen. Die Ergebnisse des STEP-Projekts zeigen, dass die künstliche Alterung grundsätzlich eine probate Methode ist, die in weiteren Projekten noch modifiziert und optimiert werden muss. (Larsen 1994, S. 165)

Die Untersuchungen des STEP-Projekts fanden ihre Fortsetzung von 1994 bis 1997 im europäischen [ENVIRONMENT](#) Lederforschungsprojekt²⁷ „Deterioration and Conservation of Vegetable Tanned Leathers“²⁸. Mit den weiterführenden Forschungen sollte die im STEP-

Projekt entwickelte Methode der künstlichen Alterung von Ledern verifiziert und als Standardmethode etabliert werden. Zudem sollten die typischen Faktoren für natürlich gealtertes, degradiertes Leder analysiert und Modelle für die Stabilität und die Zerstörung der Kollagen- und Tanninstruktur entwickelt werden, wobei die Interaktion zwischen schädigendem Gas und Ledersubstrat eine besondere Rolle spielte. Geeignete Materialien und Methoden für die Konservierung und Langzeitaufbewahrung vegetabil gegerbter Leder wurden entwickelt und evaluiert sowie Empfehlungen für die Lagerung und Ausstellung von Ledern unter angemessenen Umweltbedingungen ausgesprochen. Um Restauratoren und Konservatoren die Beurteilung von Schäden an Ledern auch ohne spezielle und teure Ausrüstung zu ermöglichen, wurde ein Katalog mit einfachen Beurteilungskriterien aufgestellt. Ein weiteres Ziel war die Entwicklung und Erprobung einer Gerbung, mit der langzeitbeständige Buchbinderleder in Archivqualität hergestellt werden können, um so eine Empfehlung an die Fachwelt formulieren zu können. ([Larsen 1997](#), S. 1; vgl. auch [Larsen 1995](#))

1997-2009: Entwicklung und Evaluierung [alterungsbeständiger Restaurierleder](#)

Larsen stellte 1997 auf dem europäischen Restauratorengipfel in Pavia die Kriterien für ein geeignetes langzeitbeständiges Leder²⁹ vor und führte unter anderem folgende Parameter an: ausschließliche Verwendung hydrolysierbarer Gerbstoffe, Schrumpfungstemperatur (Ts) 80-90°C, Länge des Schrumpfungsintervalls (ΔT_s) nicht mehr als 5°C, pH-Wert 4 (im wässrigen Extrakt) (zitiert nach [Scholtka 2006](#), S. 126-127, vgl. auch Hilsky 2008, S. 13f).

Auch für das [CRAFT-Projekt](#)³⁰ arbeiteten von 1998 bis 2001 europaweit Forschungseinrichtungen zusammen, um eine Auswahl an Buchbinderledern zu ermitteln, die nicht nur eine hohe Alterungsbeständigkeit besitzen und saurer Luftverschmutzung widerstehen, sondern sich zusätzlich auch noch gut verarbeiten lassen und somit den Anforderungen von Buchbindern und Restauratoren entsprechen. Projektteilnehmer in Deutschland waren das Deutsche Ledermuseum, das Lederinstitut/Gerberschule Reutlingen sowie die (2006 geschlossene Remagener) Kripper-Lederfabrik.

In einem ersten Teilprojekt sollte die aktuelle Situation im Bereich Einbandleder evaluiert werden. Deshalb wählte man repräsentativ 72 der europaweit als Einbandleder verwendeten Leder aus, um ihre physikalischen, chemischen und organoleptischen (das sind hier vor allem taktile und visuelle) Eigenschaften sowie ihre Alterungsbeständigkeit zu prüfen. Dann sollten die in den EU-Forschungsprojekten STEP und ENVIRONMENT entwickelten Konditionen und Parameter für die künstliche Alterung von Leder neu bewertet werden.

In einem weiteren Teil des CRAFT-Projekts sollte eine Reihe von objektiven physikalischen Tests entwickelt werden, die mit den subjektiven organoleptischen Beurteilungskriterien erfahrener Buchbinder korrelieren. Schließlich sollten in einer experimentellen, dann entwicklungstechnischen und schließlich halb professionellen Phase Leder produziert

werden: 1. mit einer Semi-Aluminium-Gerbung und 2. mit neuartigen synthetisch-organischen Gerbmethode. Die so produzierten Leder sollten auf ihre Eignung als Buchbinderleder geprüft werden.

Ergebnis der Untersuchungen des CRAFT-Projekts: Von den 72 untersuchten kommerziell erhältlichen Ledern entsprachen nur Alaunleder, Pergament, unverarbeitete und vor Ort gegerbte nigerianische Ziegenhaut sowie zwei vegetabil gegerbte Leder mit Aluminium-Nachgerbung den geforderten Kriterien nach Resistenz gegenüber Luftschadstoffen und guter Verarbeitbarkeit. Die in den EU-Projekten STEP und ENVIRONMENT entwickelten Programme zur künstlichen Alterung von Ledern sind nach Aussage des CRAFT-Projektteams nicht für die genannten Produkte gültig, da sie nichts über die aus anderen Studien bekannten Langzeiteigenschaften von Pergament sowie chrom- und alaungegerbten Ledern aussagen. Ein Untersuchungsprotokoll wurde erarbeitet, um die Eigenschaften, die Buchbinderleder nach den Ergebnissen der standardisierten physikalischen Tests haben sollten, zu definieren.

Eine Palette an Buchbinderledern, die alle erforderlichen Eigenschaften aufweisen, wurde auf halb industrieller Ebene produziert. Proben dieses Leders wurden an Kunden außerhalb des Konsortiums geschickt, um es vollständig kommerziell zu evaluieren. Später kommerziell produzierte Leder entsprachen aber nicht mehr den geforderten Kriterien.

Die Arbeitsgruppe Leather and Related Materials des International Council of Museums (ICOM) sah noch Handlungsbedarf auf dem Gebiet der Entwicklung alterungsbeständiger Restaurier- und Buchbinderleder: 2004 wurde ein Projekt gestartet, das, unter anderem basierend auf den Ergebnissen des CRAFT-Projekts, die Produktion alterungsbeständigen Leders zum Ziel hatte. Projektpartner waren das Deutsche Ledermuseum Offenbach und das Lederinstitut/Gerbereischule Reutlingen. Die ersten Testleder wurden sowohl vom Deutschen Ledermuseum als auch von Jan Wouters (Royal Institute for Cultural Heritage, Brüssel) geprüft ([Göpflich und Mackert 2005](#), S. 85). Diese Leder sind heute unter der Bezeichnung ARUB (Alterungsbeständiges Restaurierungs- und Buchbinderleder) im Handel erhältlich. Laut Herstellerangaben ist die Schrumpfungstemperatur größer als 70°C und der pH-Wert gleich bzw. größer als 4, um nur einige Parameter zu nennen.³¹

Ebenfalls 2004 initiierte die Bibliothèque National de France (BnF) in Kooperation mit dem Centre de Recherches sur la Conservation des Documents Graphiques (CRCDG) eine Untersuchung, um aus den bereits auf dem europäischen Markt erhältlichen vegetabil gegerbten Kalbledern ein für die Restaurierung historischer Bücher geeignetes Restaurierleder zu ermitteln. Die ersten Ergebnisse der Tests, die nach den Vorgaben des ENVIRONMENT Projekts an einer Auswahl von ca. 40 Ledern durchgeführt wurden, sind 2006 publiziert worden (Barbe, Nguyen und Aubry 2006, S. 1-3). Rund 25 % der geprüften Leder sind danach als Restaurierleder nicht geeignet, da sie zu viel Chrom enthalten, was sich zum einen negativ auf die Verarbeitung auswirkt, und zum anderen nicht den Empfehlungen des ENVIRONMENT Projekts für ein alterungsbeständiges Leder entspricht. Die für die Gerbung

verwendeten Tannine stammten vor allem aus der Gruppe der kondensierten Gerbstoffe, von denen man bereits seit langem weiß, dass sie in Kontakt mit bestimmten Luftschadstoffen zur Schädigung von Ledern führen können (vgl. Calnan 1989, S. 9). Unter Beachtung der Vorgaben des ENVIRONMENT-Projekts konnte keines der geprüften 40 Leder als ein für die Restaurierung geeignetes Material deklariert werden. Die an der Untersuchung beteiligten Restauratoren und Wissenschaftler sehen daher die Vorgaben des ENVIRONMENT-Projekts als zu umfassend an. Als Konsequenz aus dieser Untersuchung müssen ihrer Meinung nach entweder die auf Grundlage der Projektergebnisse formulierten Anforderungen an ein geeignetes Leder oder die Qualität der gegenwärtig erhältlichen Leder in Frage gestellt werden. Dies führte im Projektteam zum Umdenken und zur Festsetzung neuer Ziele. Zum einen sollten die wissenschaftlichen Tests fortgeführt werden, um die Auswirkung jeder einzelnen Vorgabe für die Ermittlung der Lederqualität so genau wie möglich bestimmen und so eine Revision des im ENVIRONMENT-Projekt entwickelten Kriterienkatalogs vornehmen zu können. Zum anderen sollte eine Zusammenarbeit mit ausgewählten Gerbereien initiiert werden, um so die ermittelten Parameter für ein geeignetes Leder unmittelbar auf die Produktion des Leders anwenden und den Produktionsprozess entsprechend gestalten zu können. Unter Berücksichtigung beider Faktoren sollte es möglich sein, so das Fazit des Projektteams, ein für die Restaurierung geeignetes, vegetabil gegerbtes Leder herzustellen.

Auch bei der Restaurierung von Ledertapeten, wie in den Schlössern Oranienbaum bei Dessau-Roßlau und Moritzburg bei Dresden, sah man sich vor das Problem gestellt, dass, „wie in verschiedenen europäischen Untersuchungsprogrammen erwiesen, [...] keines der weltweit als Restaurierleder angebotenen Produkte die entsprechenden Qualitätskriterien in vollem Umfang [erfüllt]“ (Schulze 2007, S. 67). Für das Schloss Oranienbaum wählte man 2004 notgedrungen, um den Terminplan und die Finanzierung durch einen externen Geldgeber nicht zu gefährden, nach Evaluierung verschiedener Leder ein am Markt erhältliches Restaurierleder³² aus, das sich gut verarbeiten ließ, aber einen Anteil an kondensierten Gerbstoffen aufweist. Man nahm dabei das Risiko in Kauf, „dass durch eine Zermürbung des Hinterklebungs- und Intarsienmaterials die Restaurierung vielleicht in 300 Jahren wiederholt werden muss.“ ([Scholtka 2007](#), S. 19-20)

Auf Schloss Moritzburg ging man einen anderen Weg und initiierte 2006³³ ein auf fast drei Jahre angelegtes nationales Forschungsprojekt mit dem Ziel der Entwicklung alterungs- und immissionsstabilen Leders zur Restaurierung der Goldledertapeten (Hilsky 2008). Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Vorhabens kooperierten der Schlossbetrieb Moritzburg, das Landesamt für Denkmalpflege Sachsen und das Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen gGmbH (FILK) in Freiberg. Ziel der Zusammenarbeit war es, „[...] auch unter den heutigen betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen jederzeit reproduzierbare Technologien zur Herstellung für Restaurierungszwecke tatsächlich geeigneten vegetabil gegerbten Kalbs- und Ziegenleders zu entwickeln“ ([Schulze 2007](#), S. 73). Ein relevantes Kriterium war, dass die zu entwickelnden

Verfahren „den Originaltechnologien der Herstellung von Tapetenleder in der vorindustriellen Zeit nachempfunden werden sollten, jedoch moderne Gefäßsysteme und heutige technologische Hilfsmittel benutzen“ sollten. Wobei dem ökologischen Aspekt eine besondere Bedeutung zukam. ([Hilsky 2008](#), S. 8 und S. 11)

Für die Gerbung wurde eine Mischung aus Eichen- und Kastanienextrakt unter Zusatz von gemahlenem Sumach³⁴ verwendet (Hilsky 2008, S. 10-11). Hilsky weist daraufhin, dass eine „genaue analytische Bestimmung der eingesetzten Gerbstoffe in Originalproben von Ledertapeten [...] bis heute schwierig [ist], so dass bei der Auswahl der Gerbstoffe einerseits von historischen Beschreibungen ausgegangen und andererseits darauf geachtet wurde, dass die Gerbstoffe keine kondensierten Anteil enthalten“. Die so gegerbten Kalb- und Ziegenleder wurden Messreihen unterzogen, die u. a. folgende Werte erbrachten: Schrumpfungstemperatur zwischen 74,5-81°C, pH-Wert zwischen 4,1-5,1, Differenzzahl zwischen 0,24-0,26, Sulfatgehalt zwischen 248-796 mg/kg Leder (Hilsky 2008, S. 15).

Das Interesse an den für Moritzburg entwickelten Ledern ist in Fachkreisen groß, wie Hilsky schreibt (2008, S. 49), wobei der Bedarf aber nicht quantifiziert werden kann. Das FILK kann kleinere Mengen der Leder liefern, aber eine „Überführung der entwickelten Technologien auf ein gewerbliches Unternehmen [erscheint] zum jetzigen Zeitpunkt als wenig sinnvoll.“ Da die Beschaffung qualitativ hochwertiger Rohstoffe, also der Häute und der pflanzlichen Gerbstoffe, aus heimischer Produktion in ausreichender Menge ein besonderes Problem darstellte, regt Hilsky (2008, S. 49) eine „enge Vernetzung mit den Herstellern dieser Ausgangsprodukte“ an. Zudem sollten die in bisherigen Forschungsprojekten aufgestellten Prüfkriterien anhand der Ergebnisse des DBU-Projekts evaluiert und ergänzt werden, die gewonnenen Erkenntnisse eine Basis für weiterführende Untersuchungen für die Entwicklung von Restaurierledern für andere Disziplinen wie z. B. die Buchrestaurierung darstellen.

In der Herzogin Anna Amalia Bibliothek (HAAB) wurden nach dem Brand im Rahmen der Mengenrestaurierung der rund 7.500 brandgeschädigten Lederbände verschiedene Restaurierleder evaluiert. Dabei wurden nicht nur vegetabil gegerbte Leder auf ihre Eignung als Restaurier- und Ergänzungsleder untersucht, sondern aufgrund der eventuell besseren Alterungsbeständigkeit auch [chromgegerbtes Leder](#). In Kooperation mit der HAAB forschte Anke [Blickwedel-Smith](#) an der Fachhochschule Köln im Rahmen ihrer Diplomarbeit zum Thema „Chromgegerbtes Leder in der Restaurierung – Vergleichende Untersuchungen mit gängigen Restaurierledern zur Alterungsbeständigkeit und Verarbeitbarkeit“ (November 2009). Die Prüfung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Chromleder vor und nach einer künstlichen Alterung ergab folgende Ergebnisse: positiv konnten die sehr gute Alterungsbeständigkeit, der stabile pH-Wert von 4 und die hohe Schrumpfungstemperatur von 100°C bewertet werden. Negativ sind aber die Ergebnisse der physikalischen Prüfungen auf Weiterreißfestigkeit und Bruchdehnung sowie die geringe Lichtbeständigkeit der Lederfärbung. Als großer Nachteil des Chromleders wird die starke



Abbildung 10: Von der HAAB zur Restaurierung der brandgeschädigten Einbände verwendete vegetabil gegerbte Leder mit Aluminiumnachgerbung in verschiedenen Brauntönen und Schwarz.

Foto: KSW/HAAB

Beschichtung der Narbenseite gesehen, die zu einer sehr hohen Benetzungszeit und zu einer reduzierten Aufnahme von Kleister bei der Verarbeitung führt (z. B. beim Verkleben von Chromledern mit historischen Ledern zwecks Ergänzung). Diese Beschichtung wirkt sich auch negativ auf die Nachfärbbarkeit des zugerichteten Leders aus, weshalb Chromleder als Ergänzungsmaterial nicht flexibel genug an vorhandenes, originales Leder angepasst werden kann. Diese Resultate führten zum Ausschluss des Chromleders als mögliches Ergänzungs-/Restaurierungs-Material für die Bearbeitung der Lederbände der HAAB. Empfohlen wird aufgrund der besseren Verarbeitungseigenschaften und der physikalischen und chemischen Messergebnisse die Verwendung eines unter gleichen Bedingungen getesteten vegetabil gegerbten und mit Aluminium nachgegerbten Kalbleders³⁵ (vgl. Abb.10).

Zusammenfassung

Ohne dass ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden kann, zeigt der kurze Abriss der mehr als 150jährigen Lederforschungsgeschichte bereits deutlich noch bestehende Desiderate auf. Zentrales Ziel der Lederforschung ist wie schon vor mehr als 100 Jahren die Entwicklung eines für die nachhaltige Restaurierung historischer Bücher und anderer Artefakte geeigneten Leders. In diesem Bereich sollen neue, alterungsbeständige Leder entwickelt und Parameter für eine serielle Herstellung festgelegt werden. Grundlage hierfür ist die Identifizierung lederschädigender Faktoren, deren Auswirkungen im Leder (einzeln wie auch im Zusammenspiel) mit modernen, nicht-zerstörenden Analyseverfahren

qualifiziert und quantifiziert werden sollen. Mittels der künstlichen Alterung sollen schließlich die Alterungsbeständigkeit neu produzierter Leder sowie die Erfolge von Maßnahmen zur Konservierung von Leder evaluiert werden, wobei die Parameter für die künstliche Alterung noch festzusetzen und zu überprüfen sind.

Obwohl die Forschung seit den 1990er Jahren intensiviert wurde und in den letzten Jahren in verschiedenen Projekten Restaurierleder entwickelt worden sind, gibt es noch heute keine allgemeingültige Empfehlung für ein alterungsbeständiges Leder, das zudem den Ansprüchen der unterschiedlichen Restaurierungsdisciplinen an die Verarbeitbarkeit genügt.

Literatur

- Barbe, C., Nguyen, T.-P., Aubry, Th. und Juchauld, F. (2006): Selecting a Quality Vegetable Calf Leather for The Conservation Treatments of Old and Valuable Books: An On-going Research Led by the National Library of France (BnF), in: International Preservation News, No 39, S. 1-3.
- Barlee, R. (1999): The Manufacture of Leather: Part 7, in: Skin Deep, Vol. 7, S. 14-15. Verfügbar unter <http://www.hewit.com/download/sd7.pdf> (Zugriff am 21.03.2013).
- Barlee, R. (2001): Craft Project - BE-S2-3432. Development of Archival Quality Leather, in: Skin Deep, Vol. 12, S. 3-8. Verfügbar unter <http://www.hewit.com/download/sd12.pdf> (Zugriff am 21.03.2013).
- Bohde, D. (2003): Abgeschunden, gegerbt und beschriftet – die menschliche Haut als mahnendes Schaustück in der niederländischen Anatomietradition, in: Zeuch, U. (Hrsg.): Verborgten im Buch, verborgen im Körper: Haut zwischen 1500 und 1800, Wolfenbüttel: Herzog-August-Bibliothek, S. 131-138.
- Blaschke, K. (2008): Lederpflegemittel auf vegetabil gegerbtem Leder – Auswirkungen und chemische Veränderungen, Diplom-Arbeit, Hochschule der Künste Bern. Verfügbar unter: http://www.atelierstrebel.ch/0_pdf_downloads.shtml, siehe Restaurierungstechniken (Zugriff am 06.06.2013).
- Blickwedel-Smith, A. (2009): Chromgegerbtes Leder in der Restaurierung – Vergleichende Untersuchungen mit gängigen Restaurierledern zur Alterungsbeständigkeit und Verarbeitbarkeit, unveröffentlichte Diplom-Arbeit, Fachhochschule Köln.
- Calnan, C. (1989): Retannage with Aluminium Alkoxides – A stabilizing Treatment for Acid Deteriorated Leather, in: ICOM Arbeitsgruppe Leathercraft and related objects, Internationale Leder- und Pergamenttagung, Offenbach, 1989.05.08-12, S. 9-25.
- Chaine, C. (1994): Ageing Experiments CRCDG, in: Larsen, R. (Hrsg.), STEP Leather Project, evaluation of the correlation between natural and artificial ageing of vegetable tanned leather and determination of parameters for standardization of an artificial ageing method, Kopenhagen: Royal Danish Academy of Fine Arts, S. 31-34 (Protection and conservation of European cultural heritage; 1).
- Cobham, u. Wood, H. (Hrsg.) (1905): Report of the Committee on Leather for Bookbinding, London. Verfügbar unter http://www.atelierstrebel.ch/0_pdf_downloads.shtml, siehe „Restaurierungstechniken“ (Zugriff am 21.03.2013).
- Covington, A. D. (2006): The chemistry of tanning materials, in: Kite, M. und Thomson, R. (Hrsg.): Conservation of Leather and Related Materials, Oxford, S. 22-35.

Deichmann, U. (2004): Proteinforschung an Kaiser Wilhelm-Instituten von 1930 bis 1950 im internationalen Vergleich, Berlin : Max-Planck-Ges. zur Förderung der Wiss. (Forschungsprogramm „Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus“: Ergebnisse; Vorabdrucke; 21). Verfügbar unter: <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/KWG/Ergebnisse/Ergebnisse21.pdf> (Zugriff am 25.02.2013).

Feller, R. L. (1994): Accelerated Ageing: photochemical and thermal aspects, Marina del Rey: The J. Paul Getty Trust (Research in Conservation; 4). Verfügbar unter http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/aging.pdf (Zugriff am 25.03.2013).

Florian, M.-L. E. (2006): The mechanisms of deterioration in leather, in: Kite, M. und Thomson, R. (Hrsg.): Conservation of Leather and Related Materials. Oxford: Butterworth-Heinemann, S. 36-57.

Giovannini, A. (1995): De tutela librorum, Genf: Les Editions I.E.S (Les cours de l'I.E.S. ; 3).

Göpfrich, J. u. Mackert, K. (2005): Restaurier-Leder: Entwicklung alterungsbeständiger Leder für die Restaurierung, in: Restauo, 111, 2, S. 85-86.

Hagerman, A. E. (2002): Condensed Tannin Structural Chemistry. Verfügbar unter <http://www.users.muohio.edu/hagermae/Condensed%20Tannin%20Structural%20Chemistry.pdf> (Zugriff am 21.03.2013).

Hagermann, A. E. (2002/2010): Hydrolysable Tannin Structural Chemistry. Verfügbar unter <http://www.users.muohio.edu/hagermae/Hydrolyzable%20Tannin%20Structural%20Chemistry.pdf> (Zugriff am 21.03.2013).

Haines, B. M. (2006): Collagen: the leathermaking protein, in: Kite, M. und Thomson, R. (Hrsg.): Conservation of Leather and Related Materials. Oxford: Butterworth-Heinemann, S. 4-10.

Haines, B. M. (2006a): The fibre structure of leather, in: Kite, M. und Thomson, R. (Hrsg.): Conservation of Leather and Related Materials. Oxford: Butterworth-Heinemann, S. 11-21.

Hilsky, G. (2008): Projekt „Modellvorhaben zur Entwicklung alterungs- und immissionsstabilen Leders zur Restaurierung der Goldledertapeten auf Schloss Moritzburg“, Moritzburg: Staatsbetrieb Staatliche Schlösser [u.a.].

Ihm, K. und Frohnecht, F. (1911): Leder für Bucheinbände und seine Haltbarkeit. Separatabdruck aus Allgemeiner Anzeiger für Buchbindereien. Stuttgart: Greiwe & Pfeiffer.

Larsen, R. (1989): The Hypotheses for a Project on Deterioration, Accelerated Ageing and Conservation of Leather and Collagen based Material, in: ICOM Arbeitsgruppe Leathercraft and related objects, Internationale Leder- und Pergamenttagung, Offenbach, 1989.05.08-12, S. 6-8.

Larsen, R. (1992): The STEP Leather Project Background and First Results, in: Hallebeek, P., Kite, M. und Calnan, C. (Hrsg.): Conservation of Leathercraft and Related Objects Interim Symposium, London, 1992.06.24-25, S. 3-6.

Larsen, R. (Hrsg.) (1994): STEP Leather Project, evaluation of the correlation between natural and artificial ageing of vegetable tanned leather and determination of parameters for standardization of an artificial ageing method. Kopenhagen: Royal Danish Academy of Fine Arts (Protection and conservation of European cultural heritage; 1).

Larsen, R. (1995): The deterioration and conservation of vegetable tanned leathers - Status of the EU ENVIRONMENT leather project. Verfügbar unter: http://cool.conservation-us.org/iada/ta95_071.pdf (Zugriff am 04.04.2013).

Larsen, R. (Hrsg.) (1997): Deterioration and Conservation of Vegetable Tanned Leather. European Commission Environment-Leather Project (Contract N° EV5V-CT94-0514), Kopenhagen: Royal Danish Academy of Fine Arts (Protection and conservation of European cultural heritage Research Report N° 6).

Larsen, R., Barkholt, V. und Nielsen, K. (August 1989): Amino Acid Analysis of Leather. Preliminary Studies in Deterioration, Accelerated Ageing and Conservation of Vegetable Tanned Leather, in: Das Leder, 40, S. 153-158.

Larsen, R. und Rasmussen, L. (2002): A Simple Micro-Method for the Determination of the Shrinkage Temperature of Leathers, Parchments and Skins, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, 16, S. 252-256.

Larsen, R., Vest, M. und Calnan, C. (1994): Materials, in: Larsen, R. (Hrsg.): STEP Leather Project, evaluation of the correlation between natural and artificial ageing of vegetable tanned leather and determination of parameters for standardization of an artificial ageing method, Kopenhagen: Royal Danish Academy of Fine Arts, S. 11-30 (Protection and conservation of European cultural heritage; 1).

Larsen, R., Vest, M. und Nielsen, C. (1994): Determination of Hydrothermal Stability (Shrinkage Temperature), in: Larsen, R. (Hrsg.): STEP Leather Project, evaluation of the correlation between natural and artificial ageing of vegetable tanned leather and determination of parameters for standardization of an artificial ageing method, Kopenhagen: Royal Danish Academy of Fine Arts, S. 151-164 (Protection and conservation of European cultural heritage; 1).

Leather Conservation Centre (Hrsg.) (1981): The Fibre Structure of Leather, Northampton: The Leather Conservation Centre.

Oltrogge, D. und Fuchs, R. (1989): Naturwissenschaftliche Untersuchungen an historischem Pergament, in: Internationale Leder- und Pergamenttagung, Offenbach (am Main) : Dt. Ledermuseum, Dt. Schuhmuseum, S. 107-109.

Paeger, J. (2006-2011): Die Industrielle Revolution: Kohle und Kapitalismus prägen die Welt. Verfügbar unter: http://www.oekosystem-erde.de/html/industrielle_revolution.html (Zugriff am 04.04.2013).

Paeger, J. (2006-2011a): Die Industrielle Revolution: Teil 2: Chemie, Elektrizität und Auto. Verfügbar unter: http://www.oekosystem-erde.de/html/industrielle_revolution_2.html (Zugriff am 04.04.2013).

Porck, H. J. (2000): Rate of Paper Degradation: The Predictive Value of Artificial Aging Tests. Amsterdam: European Commission on Preservation and Access. Verfügbar unter: <http://www.ica.org/download.php?id=604> (Zugriff am 18.04.2013).

Scholtka, A. (2006): Der Ledertapetensaal im Schloss Oranienbaum: Geschichte, Bestand und Restaurierungsprobleme, in: Restauro, 112, 2, S. 118-130.

Scholtka, A. (2007): Die Restaurierung der Ledertapeten im Schloss Oranienbaum, in: Oranienbaum Journal, 1/07, S. 12-21.

Schulze, A. (2007): Die Goldledertapeten im Schloss Moritzburg bei Dresden einst und heute sowie die Bemühungen um ihre Erhaltung, in: Oranienbaum Journal, 1/07, S. 66-74.

Strebel, M. (2003): Richtlinien für die Konservierung von Leder- und Pergamenteinbänden. Teil 3: Einfache Micro-Methode zur Bestimmung der Schrumpfungstemperatur an Leder und Pergament (update vom 5. September 2003). Verfügbar unter http://www.atelierstrebel.ch/ctrb_daten/7_einbandleder.pdf (Zugriff am 21.03.2013).

Teper, J. H. (2009): Animal Skin/Leather (American Institute for Conservation, Books Section 4 – Material – Chapter 1). Verfügbar unter http://www.conservation-wiki.com/w/index.php?title=Books_Section_4_-_Material_-_Chapter_1._Animal_Skin/Leather (Zugriff am 21.03.2013).

Thomson, R. (2006): The nature and properties of leather, in: Kite, M. und Thomson, R. (Hrsg.): Conservation of Leather and Related Materials, Oxford: Butterworth-Heinemann, S. 1-3.

Thomson, R. (2006a): Testing leathers and related materials, in: Kite, M. und Thomson, R. (Hrsg.): Conservation of Leather and Related Materials, Oxford: Butterworth-Heinemann, S. 58-64.

Thomson, R. und Lochmuller, T. (1994): Ageing Experiments LCC, in: Larsen, R. (Hrsg.): STEP Leather Project, evaluation of the correlation between natural and artificial ageing of vegetable tanned leather and determination of parameters for standardization of an artificial ageing method, Kopenhagen: Royal Danish Academy of Fine Arts, S. 35-38 (Protection and conservation of European cultural heritage; 1).

¹ Vgl. auch [Bohde 2003](#), S. 131-138.

² Europa: ca. 2,5 Millionen Jahre bis 12.000 v. Chr.

³ Europa: ca. 2.200 bis 1.200 v. Chr.

⁴ Bei der sog. Weißgerbung handelt es sich nicht um eine Gerbung im eigentlichen Sinn, da die Verbindung der Hautproteine mit dem Alaun durch warmes Wasser gelöst werden kann. Bei der Gerbung gehen der Gerbstoff und das Kollagen aber eine irreversible Verbindung ein.

⁵ Wie zum Beispiel die Ermittlung des Protein- und des Kollagengehalts, des pH-Werts und der Schrumpfungstemperatur, der Gerbstoffe und des Gerbgrads, des Restfeuchtegehalts, der Empfindlichkeit gegenüber saurer Hydrolyse oder auch die Feststellung optisch sichtbarer Schäden, um nur eine Auswahl zu nennen.

⁶ Insgesamt unterscheidet man 28 verschiedene Typen von Kollagen. Haut besteht hauptsächlich aus Kollagen Typ I (vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kollagen>, Zugriff am 25.03.2013).

⁷ Um die Dimension zu verdeutlichen: Die Fibrillen sind die erste, unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) erkennbare Struktur (max. Vergrößerungsfaktor ca. 1.000.000 : 1).

⁸ Dies wird darauf zurückgeführt, dass beim Vernetzen von Gerbstoff und Kollagen neue chemische Bindungen im Molekülkomplex ausgebildet werden, wodurch sich die jedem Molekül inhärente Bindungsenergie, die abhängig von der Art und Anzahl der chemischen Bindungen ist, erhöhen soll. Um die Bindungen schließlich zerstören zu können, muss mehr Energie aufgewendet werden, als im Molekülkomplex vorhanden ist, was in einer erhöhten Schrumpfungstemperatur resultieren soll (Haines 2006, S. 9).

⁹ Anzumerken ist, dass die Schrumpfungstemperaturen von Lederfasern, die an verschiedenen Stellen eines Einbandes entnommen wurden, in relevantem Maß differieren können. Da die Buchrücken während der Lagerung in der Regel besonders exponiert sind, hat das Leder oft dort eine niedrigere Schrumpfungstemperatur als z. B. auf den Buchdeckeln.

¹⁰ Das Schwefeldioxid wird zunächst von Sauerstoff zu Schwefeltrioxid oxidiert und dann mit Wasser zu Schwefelsäure (H₂SO₄) umgesetzt.

¹¹ Mimosa: Mimosengewächse; Gambier: Uncaria Gambier, indonesische Baumart; Quebracho: argentinische Baumart. Zu den nicht hydrolysierbaren, kondensierten Gerbstoffen zählen auch: Hemlock (Familie der Kieferngewächse), Fichtenrinde, Weidenrinde, Kassiarinde (Familie der Lorbeergewächse).

¹² Sumach: Sträucher o. kleine Bäume (z. B. Essigbaum); Tara: südamerikanischer Strauch; Myrobalanen: tropische Sträucher oder Laubbäume. Zu den hydrolysierbaren Gerbstoffen gehören auch: Kastanienholz, Divi-Divi-Baum (zur Unterfamilie der Johanniskrautgewächse zählende Bäume und Sträucher), Valonea-Eiche (zur Familie der Buchengewächse zählender Laubbaum).

¹³ Vgl. auch: Faraday, M. (1843): On the ventilation of lighthouse lamps; the points necessary to be observed, and the manner in which these have been or may be attained, in: Minutes of the Proceedings, 2, S. 206-209.

¹⁴ Vgl. auch: Loubier, J. (1910): Die Beschaffenheit des heutigen Leders und anderer Einbandstoffe: ihr schneller Verfall, dessen Ursachen und Maßregeln zum Schutze dagegen, in: Zentralblatt für Bibliothekswesen, 27, 7/8, S. 338-346.

¹⁵ Seit 1929 war die trockene, thermische Alterung bei 100°C in einem Zeitraum von 72 Stunden eine gängige Methode, da sie die stärksten und am leichtesten reproduzierbaren Alterungserscheinungen hervorrief, die, wie spätere Studien zeigte, am ehesten einer Alterung bei Raumtemperatur von 18-25 Jahre entsprach.

- ¹⁶ Vgl. Haines, B. M. (1984): The conservation of leather bookbindings, in: Adhesives and consolidants: Contributions to the 1984 IIC Congress, Paris, S. 50-54.
- ¹⁷ Das Projekt wurde von R.W. Frey und C.W. Beebe durchgeführt (The Permanence to Acid Deterioration of Vegetable Leather Retanned with Alum. In Journal of the American Leather Chemists Association, 1940, 35 (7)).
- ¹⁸ British Leather Manufacturers' Research Association (1984): The Conservation of Bookbinding Leather. London: The British Library.
- ¹⁹ British Standard: BS7451:1991.
- ²⁰ Das Ammoniumgas reagiert mit den im Leder vorhandenen freien Sulfaten unter Bildung von Ammoniumsulfat. Die dabei gebildeten Salze sind aber sehr leicht hydrolysierbar und setzen dann Ammonium frei.
- ²¹ Beebe, C.W. und Frey, R.W. (1940): The Permanence to Acid Deterioration of Vegetable Leather Retanned with Alum, in: Journal of The American Leather Chemists Association (JALCA), 35, 7.
- ²² Nach Larsen (1989, S. 6-8) ist für die Zersetzung vegetabiler Leder eine Oxidation bestimmter exponierter Bereiche der Kollagenpeptidketten charakteristisch. Diese Bereiche enthalten bestimmte Aminosäuren, welche zu sauren Aminosäuren umgewandelt werden, was schließlich zur Destabilisierung und Zerstörung der Lederstruktur führt, basierend auf einer physikalischen Zerstörung der Tripelhelix-Kollagen-Struktur, der Senkung des isoelektrischen Punkts (kurz: pI) sowie des Verlusts der stabilisierenden Ionenbindung und des relativen Gleichgewichts zwischen den gegensätzlich geladenen Aminosäure-Seitenketten. Der isoelektrische Punkt ist der pH-Wert, bei dem die Gesamtladung eines Moleküls gleich Null, das Molekül nach außen also neutral ist.
- ²³ European Commission, General Directorate XII for Science, Research and Development: Programm "Science und Technology in Environmental Protection", Forschungsgebiet "Protection and Conservation of the European Cultural Heritage".
- ²⁴ Niederlande, Dänemark, Großbritannien, Frankreich und Belgien.
- ²⁵ Gerbmittel waren Sumach, Sumach gefiltert, Eichenrinde, Myrobalan, Kastanie, Gambier, Mimosa, Quebracho, Quebracho Sulfat und arabische Akazie.
- ²⁶ Je 1 Tag Hitze/ 6 Tage Luftverschmutzung bzw. 6 Tage Hitze/1 Tag Luftverschmutzung.
- ²⁷ Projektpartner waren die School of Conservation (SC, Dänemark), das Centre de Recherches sur la Conservation des Documents Graphiques (CRCDG, Frankreich), das Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium (KIK, Niederlande), die University of East Anglia (UEA) und der National Trust (beide Großbritannien).
- ²⁸ Kopenhagen, School of Conservation, Leitung: R. Larsen.
- ²⁹ Die Kriterien werden nach Scholtka 2006, S. 126-127 zitiert, da der Tagungsband (Tutela del patrimonio culturale : verso un profilo europeo del restauratore di beni culturali. (Conservazione e Restauro : Supplemento; 1). Summit europeo, Pavia, 18.-22.10.1997, Lurano : Associazione Giovanni Secco Suardo, 1998) nicht verfügbar war. Neben den im Text genannten Parametern werden folgende Kriterien genannt: pH-Wert: Differenz bei 10-facher Verdünnung des Extraktes kleiner als 0,7; Gehalt an extrahierbaren Fetten: nicht über 4,0 Masseprozent; keine mehrfach ungesättigten oder sulphonierten Öle; Sulfatgehalt: maximal 0,2 Masseprozent; Verhältnis von basischen zu sauren Aminosäuren (B/A) größer als 0,69; Reißfestigkeit mindestens 25 N/mm²; Lederstärke zwischen 0,5 und 0,8 mm. Das Leder sollte zudem ungefärbt, glatt und frei von Haarstumpfresten sein.
- ³⁰ CRAFT EU-Project BE-S2-3432. GB, Northampton, Leather Conservation Center, Projektleitung: Roy Thomson. Ein Abschlussbericht wurde, anders als in den Projekten STEP und ENVIRONMENT, nicht vorgelegt
- ³¹ Vgl. <http://www.feinleder-hoffmann.com/news/lederinstitut/archsparubrestledvers2de1.pdf> und <http://www.feinleder-hoffmann.com/news/news.htm> für weitere Parameter und Qualitätskriterien (Zugriff: 16.07.2013).

³² Scholtka (2007, S. 19-20) schreibt: „Der Hauptlieferant für Restaurierungsleder in Europa, die englische Firma Hewit, führte kein Material, das die Qualitätstests bestand. Das Forschungsinstitut in Freiberg und das Lederinstitut Reutlingen hatten ihre Forschungsarbeit noch nicht abgeschlossen. Vor 2010 war mit einem alterungsbeständigen Restaurierungsleder nicht zu rechnen.“ Leider nennt Scholtka im Artikel nicht den Lieferanten bzw. Hersteller des bei der Restaurierung der Ledertapeten auf Schloss Oranienbaum verwendeten Leders.

³³ Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Aktenzeichen 23132, Projektlaufzeit 02.01.2006 - 31.10.2008, Fördersumme 56.880 €.

³⁴ Auf den gemahlenen Sumach wurde zurückgegriffen, nachdem sich herausstellte, dass der anfangs verwendete Sumachextrakt kondensierte Gerbstoffe enthielt (Hilsky 2008, S. 10).

³⁵ Archival BV Repair Calf, natur und gefärbt der Firma J. Hewit & Sons Ltd, 12 Nettlehill Road, Houstoun Industrial Estate, Livingston, West Lothian, EH54 5DL, Scotland. <http://www.hewit.com>

Autorin

Dr. Ivonne Rohmann
Herzogin Anna Amalia Bibliothek
Platz der Demokratie 4
99423 Weimar
ivonne.rohmann@klassik-stiftung.de